

令和 4 年 6 月 6 日現在

機関番号：34310

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18K11144

研究課題名(和文)高齢者の介護・生活習慣病予防に及ぼす複合運動療法の質的条件に関する検討

研究課題名(英文) Examination of qualitative conditions of combined exercise therapy for preventing disability and lifestyle-related diseases in the elderly

研究代表者

柳田 昌彦 (Yanagita, Masahiko)

同志社大学・スポーツ健康科学部・教授

研究者番号：40251128

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では地域在住高齢者を対象に、有酸素運動とレジスタンス運動の複合運動療法における順序性や強度が、動脈ステイフネスや生活体力などに及ぼす影響について無作為化比較試験を用いて検討した。

高齢男性を対象として検討した結果、脈波伝播速度がレジスタンス運動を先に行い有酸素運動を後に行う群のみ有意に低下し、複合運動療法の順序性が動脈ステイフネスに異なる影響を与える可能性が示唆された。生活体力は握力、歩行能力、動的バランス、柔軟性がいずれの運動群においても有意に向上した。

また、高齢女性を対象として検討した結果、レジスタンス運動における強度の違いが動的バランスに異なる影響を与える可能性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現在、主要な先進国においては、中高年者の健康づくり運動として有酸素運動とレジスタンス運動を複合的に実施することが常態化している。しかし、多くの運動療法指導者やリハビリ施設等において、その複合運動療法の順序性については経験的にプログラム化されているのが実情であり、生活習慣病や要介護状態などの予防・改善に及ぼす科学的なエビデンスを基に構成されているとは言い難い。本研究は、複合運動療法の順序性や強度が、生活体力や動脈ステイフネスなどに異なる影響を与えることを明らかにしたことにより、今後の複合運動療法のプログラミングや指導方法に対して、より効果的で有益なエビデンスを現場に提供できるものと期待される。

研究成果の概要(英文)：In this study, we investigated the effects of exercise order of combined aerobic and resistance training on arterial stiffness and physical fitness in community-dwelling elderly people using a randomized controlled trial.

As a result of examining elderly men, aerobic exercise after resistance training reduced arterial stiffness and difference of exercise order was observed. We suggest that the exercise order may favorably affect arterial stiffness when combined aerobic exercise and resistance training is performed into the same session. Grip strength, walking ability, dynamic balance, and flexibility were significantly improved in all exercise groups.

In addition, as a result of examining elderly women, it was suggested that the difference in intensity of resistance exercise may have a different effect on the dynamic balance.

研究分野：運動疫学

キーワード：複合運動療法 地域在住高齢者 順序性 無作為化比較試験(RCT) 動脈ステイフネス 生活体力

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

運動不足や老化による骨格筋の萎縮は、筋力を低下させて骨折や転倒、要介護状態、生活の質の低下を招く (Anthony ら, 2002, Wolfson ら, 1995)。また、筋量の減少に伴う基礎代謝量の低下は、脂質・糖質代謝のエネルギー分解力の低下を引き起こし、肥満や糖尿病、高血圧症などの生活習慣病の発症に悪影響を及ぼす (Hurley ら, 2000, Tzankoff ら, 1977)。これらのことから、日本の中高齢者が今後ますます平均寿命、健康寿命を延伸するためには、日常生活の中に運動を取り入れて、呼吸循環器や筋・骨格などの運動器を質・量的に強化させ、生活習慣病や転倒・骨折・寝たきりなどのリスクを軽減させていくことが重要である。

健康づくりに有効な運動としては、従来からウォーキングやジョギングなどの有酸素運動が推奨されている。この運動は、これまで多くの研究から心血管系疾患の危険因子に対する予防・改善効果があることが明らかにされている (Dumortier ら, 2003)。しかし、高齢者の虚弱や寝たきりを防ぐための運動として有酸素運動のみを実施することは、加齢に伴う速筋線維の萎縮を抑制する上で不十分であることが報告され (Sundell, 2011, Burton ら, 2010)、近年、レジスタンストレーニングのような筋力・筋量に寄与する運動が積極的に取り入れられるようになってきた。したがって、高齢化が進んでいる先進国における高齢者の健康を維持・増進するためには、有酸素運動とレジスタンス運動を組み合わせた複合運動療法が必要不可欠であり、その有効性を検証する研究が数多く行われている。

Cuff ら (2003) や Balducci ら (2004) は、II 型糖尿病の中高齢者を対象に有酸素運動とレジスタンス運動の複合運動療法を実施させたところ、インスリン感受性や心血管系疾患の危険因子、身体組成が改善し、筋力も向上したことを報告している。また、Ho ら (2012) は、肥満の中高齢者を対象に 12 週間の中強度の有酸素運動とレジスタンス運動、そしてそれを複合させた運動療法とを比較した結果、複合運動療法において心血管系疾患の危険因子の改善と体重・体脂肪の減少が他の運動群に比べて顕著であったことを明らかにしている。しかし、これらの研究は、それぞれの運動強度や頻度、時間などについて検討しているが、複合運動療法における運動種目の順序性については検討していない。

複合運動療法における運動種目の順序性に関する一過性の研究においては、Goto (2005) が健康な 20 代の男性 10 名を対象として、長時間の有酸素運動がその後に行うレジスタンス運動後の成長ホルモン分泌を抑制することを報告している。また、レジスタンス運動がその後に行う有酸素運動中の脂肪分解を亢進させることも示唆している (2007)。

Okamoto ら (2007) は、33 名の健康な若年男女を対象に 8 週間の複合運動療法を行わせた結果、レジスタンス運動後の有酸素運動は動脈硬化の代表的指標である動脈スティフネスを低下させることを報告した。しかし、Davitt ら (2013) は、23 名の女子大学生を対象に 8 週間の複合運動療法を行わせたところ、いずれの組み合わせにおいても筋力の増加や除脂肪体重の増加は見られたが、順序性による有意差は認められなかったと報告している。

これらの先行研究から、有酸素運動とレジスタンス運動の順序性については、ホルモン

分泌動態やエネルギー代謝、動脈スティフネス、骨格筋機能、生活体力などの指標において運動効果に差異を引き起こす可能性が示唆されているが、まだ十分な検証はなされていない。特に、高齢者を対象に動脈スティフネスや骨格筋量、筋力、生活体力などに及ぼす影響やそのメカニズムについて検討した研究は、現在までのところほとんど行われていない。

2. 研究の目的

本研究では、健全な地域在住高齢者を対象に、有酸素運動とレジスタンス運動の複合運動療法における順序性や強度などの質的条件が、動脈硬化の代表的指標である動脈スティフネス（脈波伝播速度）とロコモティブシンドロームの代表的指標である骨格筋機能（Bモード超音波装置による筋肥厚、1RM、生活体力など）に及ぼす影響について無作為化比較試験（RCT）を用いて検討し、高齢者の健康寿命延伸に効果的な運動処方プログラムの開発を目的とした。特に、我々は既に高齢者を対象にして複合運動療法における順序性が動脈スティフネスに異なる影響を及ぼす知見を見出しているため、さらに性別や強度の違いによる影響の差異やそれらのメカニズムについて検討を深める。現在、日本を始めとする主要な先進国においては、中高年者の健康づくり運動として、有酸素運動とレジスタンス運動を複合的に実施することが常態化している。しかし、多くのスポーツインストラクターや運動療法指導者においては、その複合トレーニングの順序性については個人の経験則に基づいてプログラム化しているのが実情であり、科学的なエビデンスを基に構成されているとは言い難い。本研究は、高齢者を対象として複合運動療法の順序性や強度が、動脈硬化や骨格筋機能などに及ぼす影響について検討し、今後、多くの先進国でますます盛んに展開される複合運動療法のプログラミングや指導方法に対して、より効果的で有益なエビデンスを現場に提供できるという意義を有している。特に、高齢者を対象として性別や強度の違いによる影響の差異やそれらのメカニズムについての研究はまだ緒についたばかりであるため、本研究は大変独創性の高いものである。

3. 研究の方法

本研究では、健全な地域在住高齢者を対象に、有酸素運動とレジスタンス運動の複合運動療法における順序性が、動脈スティフネス（脈波伝播速度）や骨格筋機能（筋肥厚、1RM、生活体力など）に及ぼす影響の性差や強度の違いについてRCTを用いて検討した。また、動脈スティフネスに関わるメカニズムとして血流依存性血管拡張反応（FMD検査）についても検討した。

(1) 複合運動療法・・・有酸素運動は自転車エルゴメータを使用し、60%HRR、ペダル回転数50～55回/分、20分間実施させた。また、レジスタンス運動はウエイトマシンを使用して5種目を70～80%1RM（中高強度）、8～12回反復、3セット（セット間休息1分）実施させた。低強度の場合は、40～50%1RMを用いた。複合運動療法は週に2～3回の頻度で、10週間行った。

(2) 脈波伝播速度・・・血圧脈波検査装置を用いて大腿動脈と頸動脈の2カ所で検出した脈波の立ち上がり時間差と測定部位間距離から脈波伝播速度（cfPWD）を評価した。

(3) 筋肥厚・・・Bモード超音波診断装置を用いて大腿四頭筋の筋厚を測定した。

(4) 1RM・・・5種目のレジスタンス運動（レッグカール、レッグプレス、チェストプレス、シーテッドロー、ショルダープレス）の最大拳上重量を評価した。

(5) 生活体力測定・・・10m 歩行速度、Timed Up & Go、握力、重心動揺、長座位体前屈、開眼片足立ち、ファンクショナルリーチ、全身反応時間などを測定した。

4. 研究成果

男性高齢者を対象とした研究結果として、有酸素運動とレジスタンス運動の順序性に関係なく、形態面の改善（体脂肪率、腹囲）や生活体力の向上（握力、歩行速度、ファンクショナルリーチ、長座位体前屈）、最大挙上重量の増加、大腿直筋の筋厚の増加が認められた。動脈スティフネスの指標である cfPWV において、先にレジスタンス運動を実施し、その後に有酸素運動を実施する群では有意な低下を示したが、有酸素運動を先に実施する群では有意な変化は認められなかった。これらの結果より、若年男性を対象とした先行研究と同様に、高齢の男性においても先にレジスタンス運動を行い、その後に有酸素運動を実施する方が、動脈スティフネスを低下させることが示唆された（下図参照）。高強度のレジスタンス運動は、中心動脈のコンプライアンスを低下させ、動脈スティフネスを増加させることが報告されている一方で、習慣的な有酸素運動は血圧の上昇を抑制し、動脈のスティフネスを低下させることが報告されていることから、レジスタンス運動によって引き起こされる中心動脈の硬化が、その後に行う有酸素運動によって抑制される可能性が示された。

有酸素運動は、血管拡張因子である一酸化窒素 (NO) などの産生能を高め、血管内皮機能を改善するという報告がある。そこで、FMD 検査を用いて血流依存性血管拡張反応に及ぼす順序性の影響を検討した結果、先にレジスタンス運動を実施した場合に FMD が増加する傾向が見られたが、有意ではなかった（下図参照）。

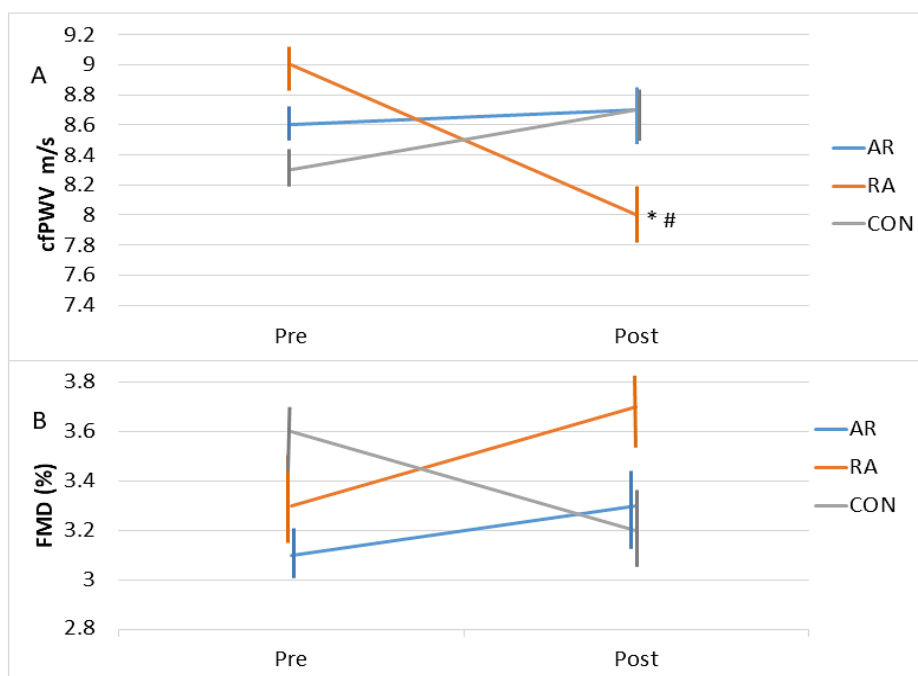


Figure 3. Changes in cfPWV (A) and %FMD (B) before and after 10-week intervention

Data at pre and post are presented as mean ± standard deviation.

* $P < 0.05$ vs. Pre, # $P < 0.05$ vs. AR or CON

AR: aerobic exercise before resistance training, RA: resistance training before aerobic exercise, CON: control, cfPWV: cardio-femoral pulse wave velocity, %FMD: percent flow-mediated dilation

次に、高齢女性を対象とした研究結果として、レジスタンス運動の強度を低強度と中等度強度に分けて検討した場合、いずれの強度においても、運動の順序性は生活体力や形態、動脈ステイフネスに異なる影響を示さなかった。しかし、強度における比較では、低強度および中等度強度のいずれのトレーニング群においても握力や歩行速度の向上、最大挙上重量の増加が認められたが、動的バランスの指標であるファンクショナルリーチは、中等度強度のトレーニング群だけに有意な向上が認められた。この結果は、高齢者において低強度でも握力や歩行速度などの生活体力は改善できるが、転倒に関わる危険因子である動的バランス能力の向上には、中等度以上の強度が必要であることを示している。先行研究では、高齢者において中等度強度の複合トレーニングを長期間することが筋機能の低下を防ぎ、日常生活動作を向上させることができると報告されているが、本研究は 10 週間でも生活体力を向上させられる可能性を示唆している。有酸素運動とレジスタンス運動の複合運動療法は、レジスタンス運動単独と比較して筋力・パワーの向上効果が「阻害効果 (interference effect)」によって弱くなるという報告がある。本研究では、レジスタンス運動単独の群を設定しなかったが、有酸素運動とレジスタンス運動の複合トレーニングは、高齢者において十分な筋力の向上をもたらし、日常生活活動 (ADL) の低下を防ぎ、骨折・転倒などを原因とする要介護状態を予防・改善できる可能性が示唆された。

メタボリック・ロコモティブシンドロームの危険因子を持った高齢者には、有酸素運動によって動脈のコンプライアンスを含む心血管系疾患の危険因子を予防・改善することと、レジスタンス運動によって筋力・筋量を増強させ、サルコペニアや骨粗鬆症を予防することの両面が健康寿命を延伸するために求められる。したがって、有酸素運動とレジスタンス運動による複合運動療法をいかに安全で効果的に取り入れていくかが重要な課題である。我々の研究成果は、高齢者に対する複合運動療法について、順序性やレジスタンス運動の強度が動脈硬化度や動的バランスなどに異なる影響を引き起こすことを明らかにし、今後、高齢化がますます進行する多くの先進国における複合運動療法の指導者や指導プログラムに対して、大変有意義なエビデンスを提供できるものと期待している。

ところで、本研究で得られたエビデンスのメカニズムに関して、脈波伝播速度に関わる指標としては血流依存性血管拡張反応 (FMD 検査) の他に血中の一酸化窒素 (NO) やエンドセリンなどを測定し、筋肥厚に関わる指標としては血中の乳酸や成長ホルモン、テストステロンなどを測定する予定であったが、2年連続で新型コロナウイルス感染症の拡大によって高齢者を対象とした介入研究を実施することが不可能な状況となってしまった。そこで、最終年度はコロナ禍において日常生活活動に大きな支障を受けている地域在住高齢者を対象に、居宅でできる軽負荷(自重)の複合運動療法プログラム(座位でのストレッチング 1~2 分間、立位でスクワット 10 回・片足立ち 10 回・かかと上げ 10 回)の下肢筋力トレーニング 3 分間、スローエアロビク 10 分間)が生活体力や血管機能に及ぼす影響について検討した。トレーニングを 12 週間実施させた結果、動脈ステイフネスに有意な変化は認められなかったが、複合動作能力の指標である timed up & go と長座体前屈において有意な向上が認められた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 12件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Takatsuji Y, Ishiguro A, Asayama K, Ohkubo T, Miura K, Kadota A, Yanagita M, Fujiyoshi A, Arima H, Miyagawa N, Takashima N, Kita Y, Hayakawa T, Kikuya M, Nakamura Y, Okayama A, Okamura T, Ueshima H, NIPPON DATA90 Research Group	4. 巻 252(3)
2. 論文標題 Exercise Habits Are Associated with Improved Long-Term Mortality Risks in the Nationwide General Japanese Population: A 20-Year Follow-Up of the NIPPON DATA90 Study	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Tohoku Journal of Experimental Medicine	6. 最初と最後の頁 253- 262
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1620/tjem.252.253	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 渡邊裕也, 山田陽介, 吉田司, 横山慶一, 山縣恵美, 吉中康子, 岡山寧子, 木村みさか	4. 巻 12
2. 論文標題 地域在住高齢者の日常の歩数と下肢骨格筋の量および質, 運動機能との関連	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 同志社スポーツ健康科学	6. 最初と最後の頁 29-36
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Watanabe Y, Yamada Y, Yoshida Y, Yokoyama K, Miyake M, Yamagata E, Yamada M, Yoshinaka Y, Kimura M.	4. 巻 11(1)
2. 論文標題 Comprehensive geriatric intervention in community-dwelling older adults: A cluster-randomized controlled trial.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J Cachexia Sarcopenia Muscle	6. 最初と最後の頁 26-37
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shiotsu Y, Watanabe Y, Tujii S, Yanagita M,	4. 巻 111
2. 論文標題 Effect of exercise order of combined aerobic and resistance training on arterial stiffness in older men	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Experimental gerontology	6. 最初と最後の頁 27-34
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.exger.2018.06.020.	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Watanabe Y, Ikenaga M, Yoshimura E, Yamada Y, Kimura M	4. 巻 13
2. 論文標題 Association between ultrasonography echo intensity and attenuation of computed tomography in young and older adults	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Clin Interv Aging	6. 最初と最後の頁 1871-1878
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2147/CIA.S173372. eCollection 2018.	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 塩津陽子、逢井翔太郎、若原卓、渡邊裕也、炭本佑佳、柳田昌彦	4. 巻 14
2. 論文標題 有酸素性運動とレジスタンス運動の複合トレーニングにおける順序性が高齢男性の下肢筋力および筋量に及ぼす影響	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 同志社スポーツ健康科学	6. 最初と最後の頁 22-32
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計16件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 柳田昌彦
2. 発表標題 特別企画3「運動療法の話題～Exercise is medicine, その理論と実践～」糖尿病治療におけるレジスタンス運動の効果と実際～個人から集団までの予防的実践法の確立を目指して～
3. 学会等名 第54回糖尿病学の進歩 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 柳田昌彦, 塩津陽子, 炭本祐佳
2. 発表標題 地域在住高齢男性を対象とした有酸素運動とレジスタンス運動の複合トレーニングにおける順序性が動脈ステイフネスに及ぼす影響
3. 学会等名 第56回日本循環器病予防学会学術集会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 塩津陽子, 若原卓, 渡邊裕也, 柳田昌彦
2. 発表標題 高齢男性における柔軟性と血管機能の関連について
3. 学会等名 第74回日本体力医学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 柳田昌彦
2. 発表標題 複合トレーニングにおける順序性と強度が高齢女性の形態や生活体力に及ぼす影響
3. 学会等名 日本健康科学学会第35回学術大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Watanabe Y, Yamada Y, Yoshida T, Yokoyama K, Yamagata E, Miyake M, Yoshinaka Y, Kimura M.
2. 発表標題 Effects of comprehensive geriatric intervention on oral care and dietary habits among community-dwelling older adults
3. 学会等名 5th Asian Conference for Frailty and Sarcopenia (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Watanabe Y, Yamada Y, Yoshida T, Yokoyama K, Yamagata E, Miyake M, Yoshinaka Y, Kimura M.
2. 発表標題 Effects of comprehensive geriatric intervention on muscle quantity, quality, and function in community-dwelling older adults
3. 学会等名 12th International Conference on Cachexia, Sarcopenia & Muscle Wasting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Watanabe Y, Yamada Y, Yoshida T, Yokoyama K, Yamagata E, Miyake M, Yoshinaka Y, Kimura M.
2. 発表標題 Long-term effects of comprehensive geriatric intervention in community dwelling older adults.
3. 学会等名 International Conference on Frailty and Sarcopenia Research 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 達井翔太郎, 塩津陽子, 若原卓, 渡邊裕也, 柳田昌彦
2. 発表標題 有酸素運動とレジスタンス運動の複合トレーニングにおける順序性が高齢男性の下肢筋力及び筋量に及ぼす影響
3. 学会等名 第73回日本体力医学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 塩津陽子, 達井翔太郎, 柳田昌彦
2. 発表標題 高齢男性における有酸素運動とレジスタンス運動による複合トレーニングの順序性が生活体力や 1 RM, 動脈スティフネスに及ぼす影響
3. 学会等名 第73回日本体力医学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Watanabe Y, Gyoba S, Yamagata E, Hara D, Kamada Y, Tsutsumi J, Fukuhara S
2. 発表標題 Comparison of muscle size, muscle composition and physical function between healthy and physically disabled older adults
3. 学会等名 11th International Conference on Cachexia, Sarcopenia & Muscle (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 岡山明, 奥田奈賀子, 柳田昌彦	4. 発行年 2019年
2. 出版社 日本家族計画協会	5. 総ページ数 388
3. 書名 健康教育マニュアル 第2版	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	若原 卓 (WAKAHARA TAKU) (20508288)	同志社大学・スポーツ健康科学部・准教授 (34310)	

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
連携 研究者	渡邊 裕也 (WATANABE YUYA) (70644376)	同志社大学・スポーツ健康科学部・助教 (34310)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------